

# 窒化ホウ素膜の作製とその木工切削工具への適用\*

中 村 知 彦\*\*

北 垣 寛\*\*

関 浩 子\*\*

松 田 実\*\*\*

## (要 旨)

イオンビームアシスト蒸着法によりホウ素の蒸着速度、イオンの加速電流を変えて基板温度300 で窒化ホウ素膜を成膜した。得られた皮膜のB/N組成は1.4から8.6であり、結晶相は全て六方晶であった。また、ダイナミック硬度が1254 から2041であった。超硬製ルータービット刃のすくい面に膜厚1 μ mの窒化ホウ素膜を成膜し、MDF材について切削試験を行ったところ、非被覆刃と比較して切削性の向上が認められ、その傾向はホウ素の蒸着速度が高い皮膜ほど顕著であった。

## 1 緒 言

窒化ホウ素は耐熱性が良好であり鉄に対する反応性が少ないこと<sup>1)</sup>等により金属加工用途の切削工具に用いられているが、特に高硬度で知られるc-BN相は生成が困難であり、その成膜化については精力的に研究が行われている<sup>2)3)</sup>。

一方、木材加工用途の切削工具は木材の持つ低熱伝導性などにより切削時における工具刃先は厳しい条件におかれているが、刃先表面への成膜による切削性向上等に関する研究例はほとんど見られない。そこで本報告では前報<sup>4)</sup>に引き続きイオンビームアシスト蒸着法による窒化ホウ素膜の成膜を行い、さらに木工加工用ルータービット刃に被覆してその切削性について検討を行った。

## 2 実験方法

イオンビームアシスト蒸着は日新電機(株)製複合イオンビーム成膜装置(IVDS-250)を用いて行った。この際、ホウ素の蒸着速度及びイオン電流密度を変えることによりホウ素/窒素イオンの基板への供給比を制御した。成膜条件を表1に示す。基板材料は必要に応じてシリコンウエハ、兼房(株)製超硬製ルータービット刃を用いた。ルータービット刃については刃のすくい面に1 μ mの膜厚設定で成膜した。すくい面の大きさは20mm × 5 mmである。

皮膜の結晶構造はFT-IRによる吸収スペクトル測定により、また皮膜の組成はオージェ電子分光

表1 成膜条件

作動真空度	$3 \times 10^{-5}$ torr
ビーム入射角度	基板に対して垂直
基板温度	300
加速電圧	6 kV
基板回転	5 rpm

\* 材料表面の高機能化に関する研究( )

\*\* 材料技術課 技師

\*\*\* 材料技術課 主任研究員

表2 切削試験

ルータービット刃	超硬製・すくい面に窒化ホウ素膜を1 $\mu$ m成膜
被切削材	MDF材
切刃回転数	18000rpm
切刃直径	10mm
切り込み深さ	3mm
送り速度	1000mm/min

分析によりそれぞれ行った。

皮膜の硬度は(株)島津製作所製超微小硬度計(DUH-200)により荷重0.5gでのダイナミック硬度測定を測定し評価した。

切削試験は表2に示す条件でNCルータにより切削を行った。切削性は切削距離が21.5km、39.4km、53.7kmの点で切削面の顕微鏡観察を行い切削長3.8mmでのヒゲの本数を長さ0mm以上0.08mm未満をクラス1、0.08mm以上0.20mm未満をクラス2、0.20mm以上0.40mm未満をクラス3、0.40mm以上をクラス4として各クラスのヒゲ本数を計測して評価を行った。

### 3 結果と考察

図1にホウ素の蒸着速度が0.48,0.83,1.13nm/secの場合の加速電流と窒化ホウ素膜の成膜速度との関係を示す。窒化ホウ素膜の成膜速度は、ホウ素の蒸着速度が1.13nm/sec以外では窒素イオンビームの加速電流値の増加に伴い減少する傾向を示していた。これは加速電流の増加により生成した膜のスパッタ速度が大きくなるためと考えられる。ホウ素蒸着速度が1.13nm/secの場合はホウ素の突沸等による蒸着速度制御が困難であったため窒化膜の成膜速度にも影響していることが考えられる。また、ホウ素の蒸着速度が増加すると、加速電流が同じでも窒化膜の成膜速度は大きくなっており、

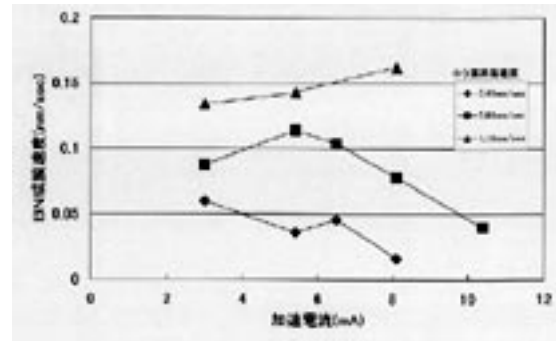


図1 加速電流とBN成膜速度との関係

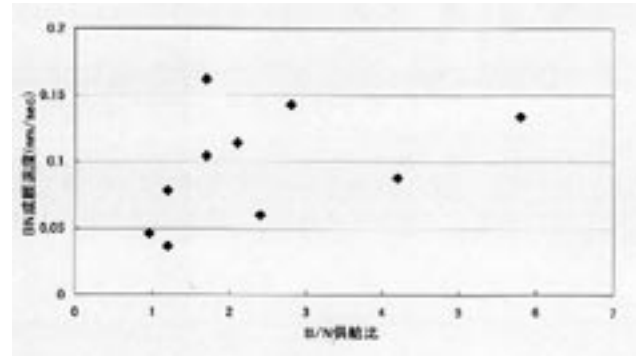


図2 B/N供給比とBN成膜速度との関係

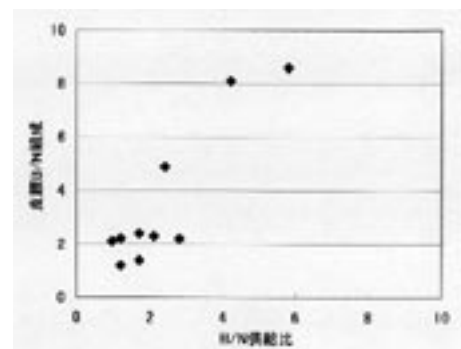


図3 B/N供給比と皮膜B/N組成との関係

イオンとホウ素の基板への供給比と窒化ホウ素膜の成膜速度との関係を整理した結果を図2に示す。

図3に今回の実験でのB/N供給比と皮膜のB/N組成との関係を示す。B/N供給比を0.96から5.8の範囲で変化させ、B/N組成が1.4から8.6の皮膜が得られた。今回の実験ではB/N組成は供給比とほぼ比例的に変化しており、供給比により組成が制御可能であることがわかる。しかしながら量論的には傾き1の直線上で変化するはずであるが、実際はホウ素の過剰な皮膜が生成している。これはビームが不均一に照射され、見かけの電流密度よ

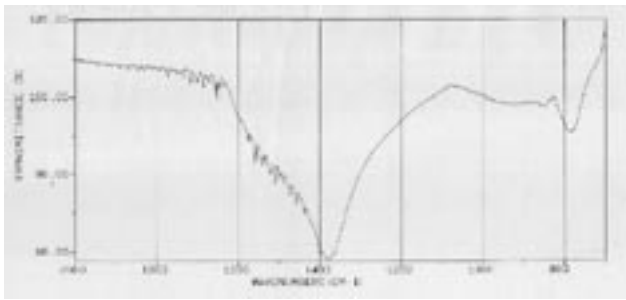


図4 窒化ホウ素膜の赤外吸収スペクトル  
B/N 供給比 0.96

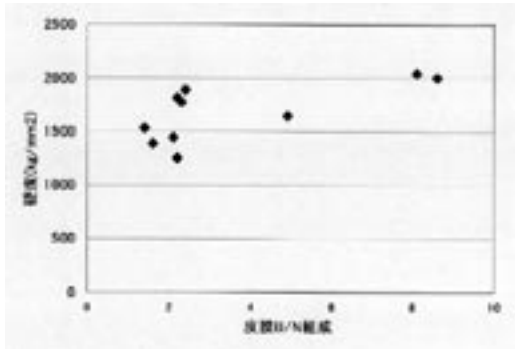


図5 皮膜B/N組成と硬度との関係

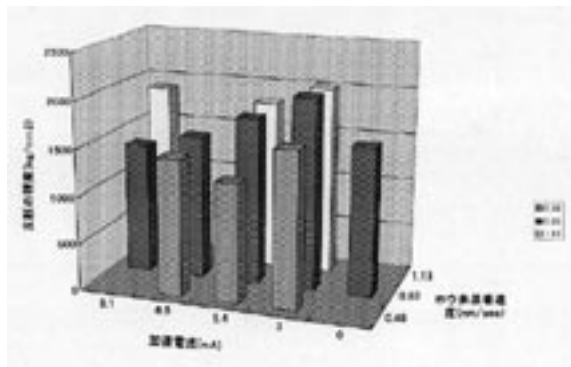


図6 皮膜の硬度

り実際は低い値をとっていることなどが原因として考えられる。

図4にB/N供給比が0.96の窒化ホウ素膜の赤外吸収スペクトルを示す。スペクトルはh-BN相を示す約 $1400\text{cm}^{-1}$ と $800\text{cm}^{-1}$  h-BNの吸収を示している。窒化ホウ素はB/N供給比が1に近い条件でc-BN相が得られているが<sup>3)</sup>、今回の実験ではB/N供給比が図に示されている膜の成膜条件より大きい条件下で成膜した他の全ての窒化膜ホウ素膜でh-BNのみの吸収が認められ、c-BN相の生成は認められなかった。この結果は前報で基板を水冷して成膜した結果と同様であり、基板温度による結

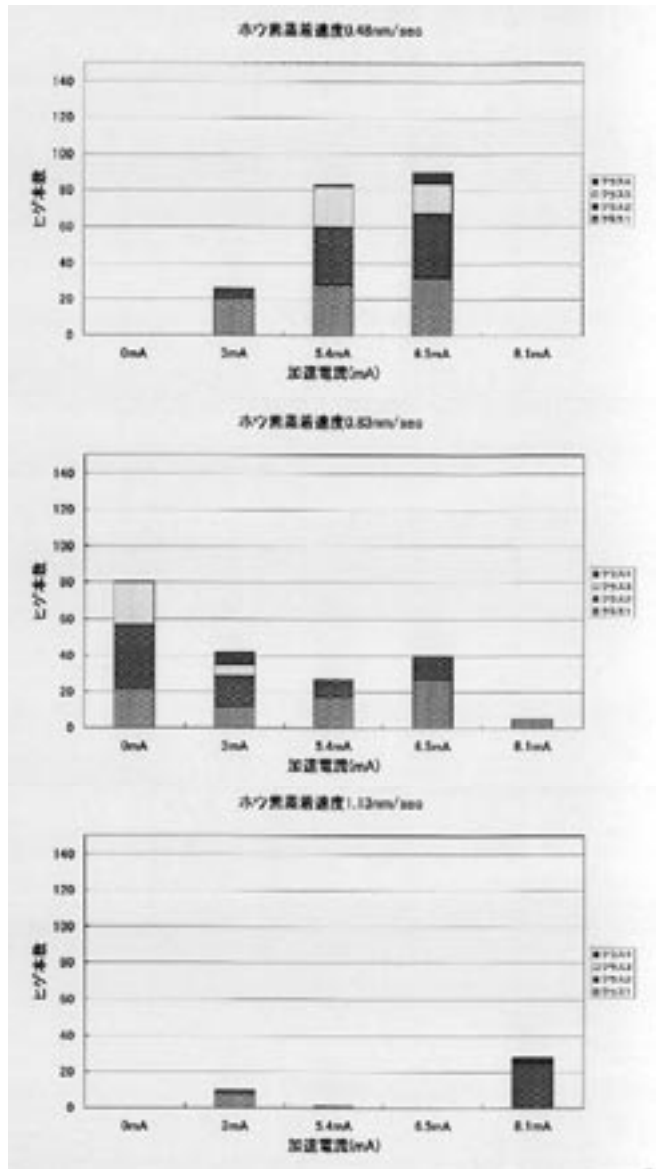


図7 切削距離21.5kmでのヒゲ本数  
(切削長3.8mm)

晶相の変化は認められなかった。

図5に皮膜B/N組成と硬度との関係を示す。超硬母材の硬度は1587であるが、今回得られた皮膜硬度が1254から2041であり母材と同程度もしくは若干高い硬度を示した。また比較的硬度の低いホウ素の組成比が増加するに従って硬度が低くなることが予想されたが、大きくばらつきがあるもののB/N組成の増加に伴い硬度は増大する傾向を示した。この原因については現在のところ不明である。また図6にホウ素蒸着速度、加速電流と硬度の関係を示す。硬度はホウ素蒸着速度が高いほ

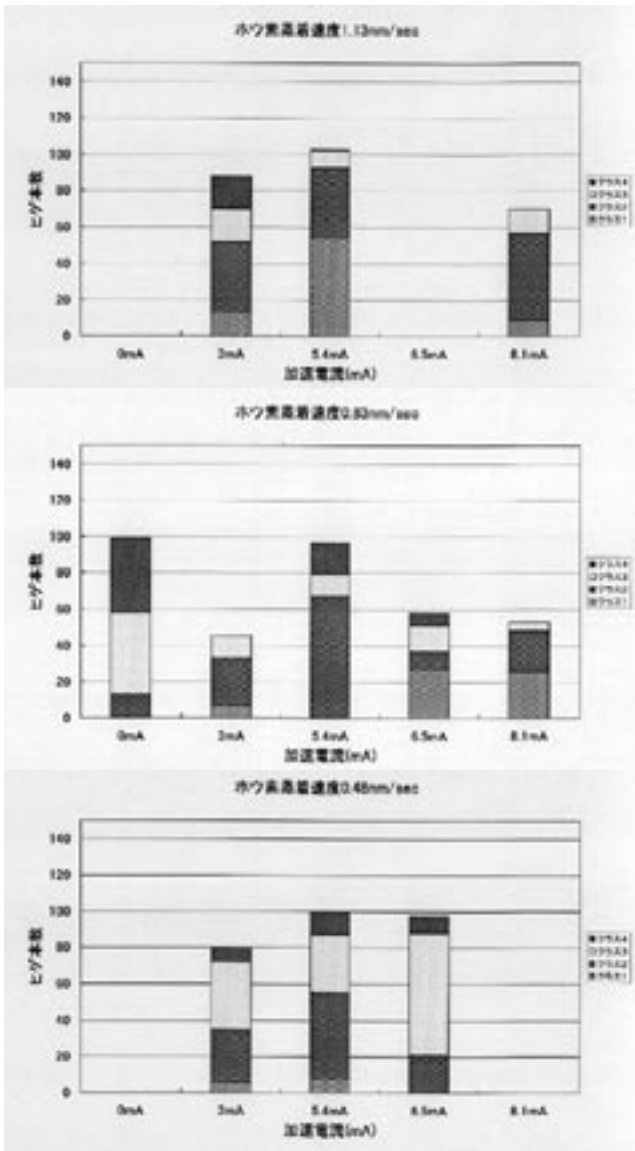


図8 切削距離39.4kmでのヒゲ本数  
(切削長3.8mm)

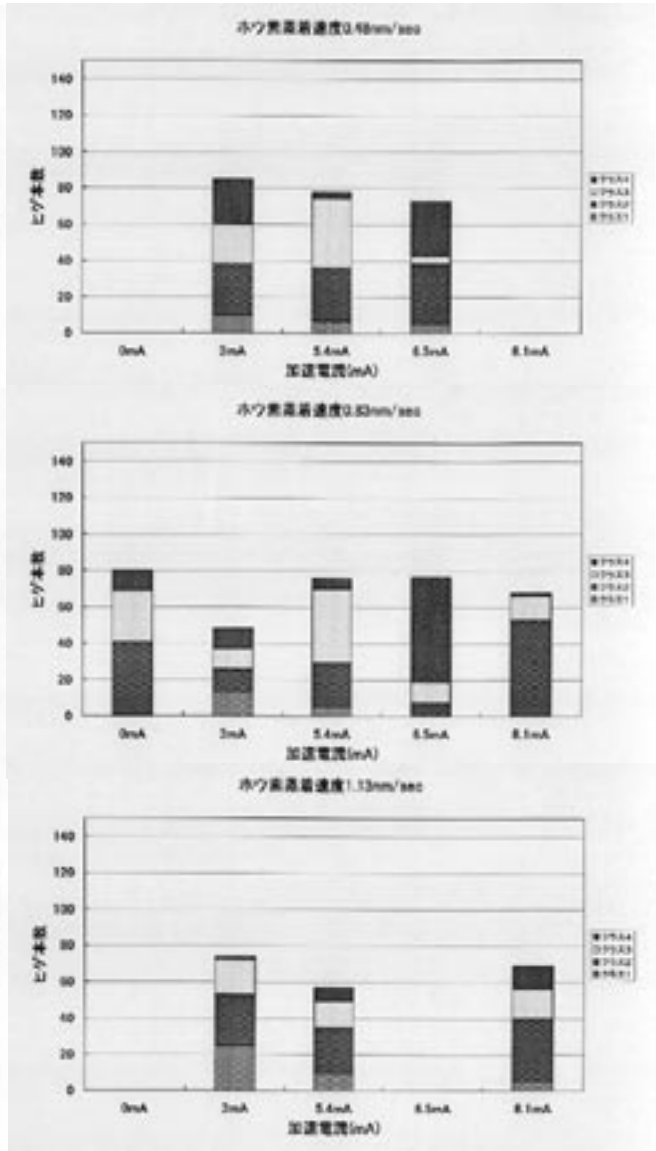
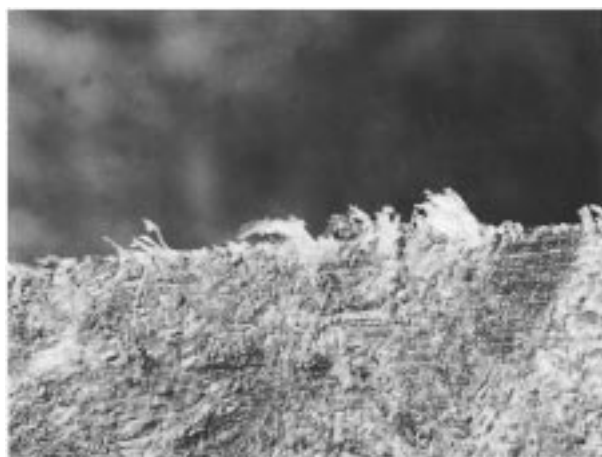


図9 切削距離53.7kmでのヒゲ本数  
(切削長3.8mm)

ど、また加速電流が低いほど高くなる傾向を示した。

図7～9に21.5km,39.4km,53.7km各切削距離における切削長3.8mmでのヒゲ本数のクラス分けの結果を示す。図中、BN膜の被覆を行っていないルータービット刃による切削結果をホウ素蒸着速度0.83nm/secで加速電流0mAで示している。また棒が示されていない条件での実験は行っていない。図7から切削距離21.5kmでは、未被覆の場合と比較してホウ素の蒸着速度が高いほどヒゲ本数は減少しており、切削性が向上していることがわ

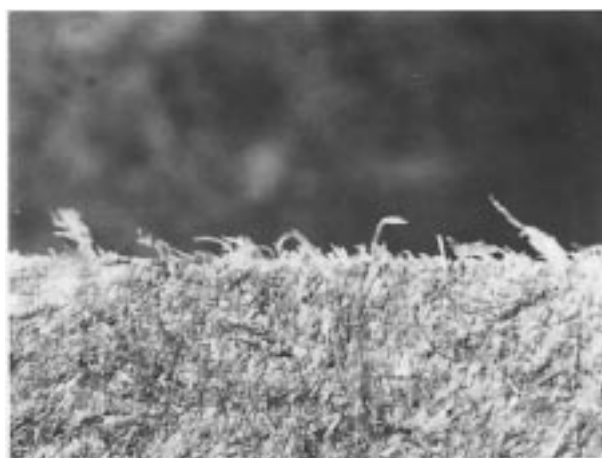
かる。特にホウ素の蒸着速度が1.13nm/secでは3条件ではあるが良好な結果が得られた。図8から切削距離が39.4kmに延びるとヒゲ本数総数では未被覆の場合と被覆刃ではホウ素蒸着速度によらず大きな差は認められなくなるが、ヒゲの長さを比較すると未被覆刃による切削ではクラス3、クラス4と長いヒゲが多く発生しているのに対し、被覆刃による切削ではクラス1、クラス2の短いヒゲの発生が多くなっており、この傾向はホウ素蒸着速度1.13nm/secで顕著である。図9の切削距離53.7kmについてもこのような傾向は認められた。



未被覆刃による切削



ホウ素蒸着速度0.83nm/sec



ホウ素蒸着速度0.48nm/sec



ホウ素蒸着速度1.13nm/sec

図10 切削面の顕微鏡写真 ( ×25 ) 切削距離 21.5km 皮膜のイオン加速電流 : 5.4mA

以上から今回のルータービット刃へのBN皮膜のすくい面のみでの被覆によりMDF材の切削性は向上すること、この傾向はホウ素の蒸着速度が高いほど良好であることがわかった。この原因としては図6に示している硬度と幾分相関がみられるが、明確な結論は得られていない。なお図10に加速電流5.4mAでの各ホウ素蒸着速度により被覆したルータービット刃および未被覆刃による切削距離21.5kmでの切削面の顕微鏡写真を示す。

また切削距離53.7km後の被覆ルータービット刃は、全て刃先の皮膜の脱落が認められた。従って切削寿命の改善には皮膜密着性の更なる改善が必要であることがわかった。

#### 4 結 言

イオンビームアシスト蒸着法により基板温度300で加速電流、ホウ素蒸着速度を変えて窒化ホウ素膜を成膜したところ以下の結果が得られた。

- 1) B/N供給比を0.96から5.8と変化させ、B/N組成比が1.4から8.6の皮膜が得られたが結晶相は六方晶のみであった。またB/N供給比とB/N組成比とは比例的に変化した。
- 2) 皮膜の硬度はB/N組成が高いほど、すなわちホウ素蒸着速度が高く、イオンの加速電流値が低いほど高くなる傾向を示した。
- 3) 超硬製ルータービット刃への窒化ホウ素膜の被覆によりMDF材での切削性の向上が認めら

れた。切削性はホウ素の蒸着速度が高いほど良好であった。

### **(謝辞)**

本実験で切削試験及びその評価について御協力いただきました当センター材料技術課 坂之上技師に感謝いたします。

### **参考文献**

- 1 ) 榎本裕嗣、三宅正二郎：薄膜トライボロジー，東京大学出版会(1994),99.
- 2 ) 田辺信夫、飯島康裕、高山輝之、岩木正哉：表面技術、43(1992),1223.
- 3 ) Y.Andoh,K.Ogata,Y.Suzuki,E.Kamijo,M.Satou and F.Fujimoto;Nucl.Instr.and Meth.,B19/20 (1987),787.
- 4 ) 中村知彦他：本誌、25(199),58.